



EESTI MAAÜLIKOOL  
Tehnikainstituut

**Taavi Jõgeva**

**SAJUVEE KASUTAMINE ELEKTRIENERGIA SAAMISEKS  
TEHNIKAMAJA NÄITEL**

RAINWATER AS ELECTRIC ENERGY SOURCE ON AN  
EXAMPLE OF TEHNIKAMAJA

Bakalaureusetöö  
Tehnika ja tehnoloogia õppekava

Juhendajad: lektor Mart Hovi, *Msc*  
lektor Külli Hovi, *Msc*

**Tartu 2018**

Eesti Maaülikool		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Kreutzwaldi 1, Tartu 51014			
Autor: Taavi Jõgeva		Õppekava: Tehnika ja tehnoloogia	
Pealkiri: Sajuvee kasutamine elektrienergia saamiseks Tehnikamaja näitel			
Lehekülgi: 40	Jooniseid: 24	Tabeleid: 6	Lisasid:
<p>Energiakasutuse õppetool</p> <p>ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood: 4.17 Energeetikaalased uuringud; T140 Energeetika</p> <p>Juhendaja(d): Mart Hovi, Külli Hovi</p> <p>Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu, 2018</p>			
<p>Antud bakalaureusetöö eesmärgiks on uurida võimalust kasutada sajuvett elektrienergia saamiseks Eesti Maaülikooli Tehnikamaja näitel. Uurimistöös kirjeldatakse hüdroakumulatsioonijaamade levikut maailmas, tööpõhimõtet ning arenguid Eestis. Katselises osas antakse ülevaade katseseadmest, leitakse kasutatavate hüdro-generaatorite energeetilised näitajad. Sademete andmed pärinevad Tartu Ülikooli ilmajaama andmebaasist. Tehnikamaja katuse üldpindala järgi arvutatakse potentsiaalne energia, mida oleks võimalik elektrienergiaks muundada.</p> <p>Katselises osas selgus kasutatavate hüdro-generaatorite kasutegur, mida oleks vaja edasistest uurimistes suurendada või kasutada suurema nimivõimsusega seadmeid. Seeläbi on võimalik saavutada seadme suurem tootlikkus ning majanduslik tasuvus. Lisaks vajaks edasist uurimist ka elektrienergia salvestamine superkondensaatoritesse, akupankadesse või toita otse mõnd muud tarbijat.</p>			
Märksõnad: hüdro-generaator, hüdroakumulatsioonijaam, potentsiaalne energia, elektrienergia, taastuvenergia			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Taavi Jõgeva		Curriculum: Engineering	
Title: Rainwater as Electric Energy Source on an Example of Tehnikamaja			
Pages: 40	Figures: 24	Tables: 6	Appendixes:
Chair of Energy Application Engineering Field of research and (CERC S) code:4.17 Energetic research; T140 Energy research Supervisors: Mart Hovi, Külli Hovi Place and date: Tartu, 2018			
<p>The main aim of this thesis is to explore the possibility of using rainwater to generate electricity on an example of Estonian University of Life Sciences Tehnikamaja. The research paper describes hydroaccumulation stations in the world, its working principles and current developments in Estonia. The experimental part gives an overview of the used test device and the system energetic characteristics are calculated. The weather data is from the University of Tartu Weather Stations database. According to the total area of the roof of Tehnikamaja, the potential energy that could be converted into electricity is calculated.</p> <p>The experimental part and calculations suggest to use generators with greater efficiency or more power. The efficiency of the used hydro-generators need more research, higher efficiency would make possible to achieve higher productivity and economic profitability of the device. In addition, storing the energy or electricity using supercapacitors or battery banks, need further research.</p>			
Keywords: hydro-generator, hydroaccumulation station, potential energy, electricity, renewable energy			

# SISUKORD

<b>LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU .....</b>	<b>5</b>
<b>SISSEJUHATUS.....</b>	<b>6</b>
<b>1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....</b>	<b>7</b>
1.1. HÜDROAKUMULATSIOONIJAAAM.....	7
1.2. DIREKTIIVIDE ÜLEVAADE.....	10
1.3. VIHMAVEE POTENTSIAAL .....	12
<b>2. ILMASTIKU ÜLEVAADE .....</b>	<b>15</b>
2.1. SADEMETE HULK .....	15
<b>3. ENERGIA ARVUTUSED TEHNIKAINSTITUUDI NÄITEL.....</b>	<b>18</b>
3.1. POTENTSIAALNE ENERGIA .....	18
3.2. ELEKTRIENERGIA .....	21
<b>4. KATSELINE OSA.....</b>	<b>22</b>
4.1. SEADME ÜLEVAADE .....	23
4.2. STRUKTUURSKEEM.....	26
4.3. ELEKTRIAHELA SKEEM .....	27
4.5. KATSEANDMED .....	27
4.5.1. Üldine informatsioon.....	27
4.5.2. Esimene katse .....	28
4.5.3. Teine katse .....	30
4.5.3. Kolmas katse .....	31
4.5.4. Neljas katse.....	32
<b>5. TULEMUSED.....</b>	<b>34</b>
5.1. KATSELISE OSA ANALÜÜS.....	34
5.2. SEADME KAOD .....	35
<b>KOKKUVÕTE .....</b>	<b>36</b>
<b>KASUTATUD KIRJANDUS.....</b>	<b>37</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>39</b>
<b>LIHTLITSENTS.....</b>	<b>40</b>

## LÜHENDITE JA TÄHISTE LOETELU

<i>ENMAK 2030</i> –	energiamajanduse arengukava aastani 2030
<i>off-grid</i> –	võrguvaba elektrienergia lahendus
<i>aluplex</i> –	laialt levinud, painutatav veetoru
$Q_{\text{Tehnikamaja}}$ –	Tehnikamaja pinnale sadav vihmavee hulk, kg
$Q_{\text{aasta}}$ –	summaarne aastane sademete hulk, kg/m <sup>2</sup>
$Q$ –	veehulga voolamise kiirus, kg/s
$m_{\text{veisisse}}$ –	süsteemi sisse antud vee mass, kg
$m_{\text{vesivälja}}$ –	süsteemist väljunud vee mass, kg
$m_{\text{kanister}}$ –	kanistri mass, kg
$m_{\text{vesikadu}}$ –	süsteemi sisse antud ja väljunud vee masside vahe, kg
$R$ –	takistus, $\Omega$
$U_k$ –	generaatori keskmine pinge, V
$U_{\text{max}}$ –	generaatori maksimaalne pinge, V
$P_k$ –	terve seadme võimsus, W
$t$ –	katse kestvus, s
$\eta_{\text{süsteem}}$ –	terve süsteemi kasutegur, %
$E_{\text{el}}$ –	seadme poolt toodetud elektrienergia, kW·h
$E_{\text{seade}}$ –	seadme poolt muundatud energia, J
$E_{\text{pot}}$ –	süsteemi veega sisse antud potentsiaalne energia, J

## SISSEJUHATUS

Antud töö eesmärk on uurida elektri tootmise võimalust kasutades vihmavett Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi näitel, uurida sajuvee potentsiaalse energia muundamist elektrienergiaks. Uurimistöös antakse ülevaade taastuvenergia direktiividest, ilmastikust, katseseadmest ning sooritatakse mõõtmised, mille alusel analüüsitakse süsteemi energeetilisi omadusi.

Vihmavett võib lugeda taastuvaks energiaallikaks. Kasutades kogumismahuteid või sajuveetorusid Tehnikamaja katusel on võimalik sajuvesi koguda ning salvestada tema potentsiaalne energia. Potentsiaalse energia saab muundada elektrienergiaks läbi hüdrogeneraatori. Saadud elektrienergiat on võimalik salvestada erinevatesse akudesse, superkondensaatoritesse, akupankadesse või toita mõnd muud tarbijat. Süsteemi võiks siduda *off-grid* võrguga või kasutada hüdroakumulatsioonijaamana energia salvestamiseks, millega kompenseerida teisi muutliku tootmisega energiaallikaid.

Eesmärgi täitmiseks olen jaganud oma töö viieks peatükiks. Esimeses peatükis antakse ülevaade kirjandusest, mis hõlmab hüdroakumulatsioonijaamade tutvustust, levikut, arengusuundi Eestis, taastuvenergia direktiivide ülevaadet ning vihmavee potentsiaali kasutamist kui alternatiivset energiaallikat. Teises peatükis antakse ülevaade ilmastikust, sademete hulgast ning mõõtmise metoodikast. Kolmas peatükk keskendub teoreetilistele arvutustele Tehnikamaja näitel, kus arvutatakse võimalik potentsiaalne energia ja elektrienergia. Neljandas osas tutvustatakse katset ja tuuakse välja katsemõõtmised koos arvutustega, antakse ülevaade katseseadmest ning esitatakse protsessi struktuurskeem. Viiendas peatükis analüüsitakse katselises osas saadud tulemusi, võrreldakse erinevaid generaatoreid ja nende mõõtetulemusi, kirjeldatakse testseadme kasutamise võimalust Tehnikamajas, tehakse järeldusi ning analüüsitakse seadme kadusid koos kasuteguriga.

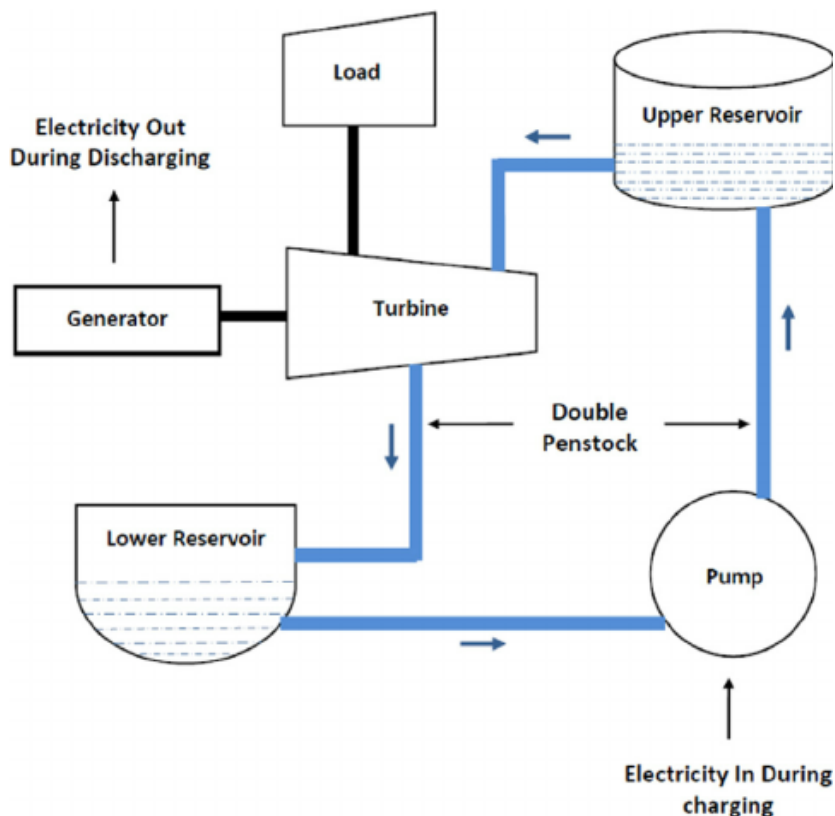
Tänan oma juhendajaid Mart Hovi ja Külli Hovi abi ning toe eest terve uurimistöö vältel.

# **1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE**

## **1.1. HÜDROAKUMULATSIOONIJAAAM**

Energiasalvestina kasutatavad hüdroakumulatsioonijaamad moodustavad maailmas kokku 99% kogu salvestustehnoloogiatest, kokku üle 127GW. Suurimad asuvad Ameerika Ühendriikides, Hiinas ja Jaapanis. Lisaks on ehitamisjärgus pumpelektrijaam Kannagawas Jaapanis ning Dnestris Ukrainas, võimsustega vastavalt 2820 MW ja 2268 MW [1, lk.217-218]. Eestis on pump-hüdroakumulatsioonijaam planeerimise etapis, põhieesmärk oleks elektrituulikute ja PV-paneelide toodangu balansseerimine, süsteemi koormusgraafiku ühtlustamine, kiirelt käivituva avariireservi loomine [2]. Vastavalt Eesti pump-hüdroakumulatsioonijaama hoonestusloa keskkonnamõju hindamisele võiks eeldatav asukoht olla Põhja-Eestis Maardus või Paldiskis [3].

Hüdroakumulatsiooni- või pump-hüdroakumulatsioonijaamade korral kasutatakse vee potentsiaalset energiat ning muundatakse see elektrienergiaks kasutades turbiini ning generaatorit. Hüdroakumulatsioonijaamasid kasutatakse ka laialdaselt energia salvestamiseks, kuna see on kiiretoimeline ja suure energia salvestamise võimega.



**Joonis 1.1.** Pump-hüdroelektrijaama põhimõtteskeem [4]

Pump-hüdroakumulatsioonijaama ning hüdroakumulatsioonijaama eristab pumba olemasolu, kuid nende tööpõhimõte on sama. Pumba vajatakse ülemise veehoidla veega täitmiseks. Vesi voolab ülemisest mahutist läbi turbiini alumisse mahutisse. Turbiin on ühendatud võllil asuva generaatoriga (Joonis 1.1).

Kõige olulisemaks kriteeriumiks hüdroakumulatsioonijaamade rajamisel on mahutite vaheline kõrgus  $H$ , soovituslikult võiks jääda see vahemikku 50-500m, suuremate kõrguste korral kasutatakse teisi seadmeid. Hüdroakumulatsioonijaamade kasutegur jääb vahemikku 70-85%, seda mõjutavad nii asukoht kui ka turbiinide valik. [1, lk 217].

**Tabel 1.1.** Turbiinide kasutegur [5, lk 46, tabel 4.1]

Turbiini tüüp	Kasutegur, $\eta_t$ , %	Rakendatavus
Kaplan	80-95	Kõrgustel kuni 100m
Ossberger	80	Kõrgustel kuni 100m
Francis	>90	Kõrgustel 40 kuni 600m
Pelton	90-95	Kõrgustel 15 kuni 1800m



Genereeritav elektrienergia on arvutatav valemiga [5, lk 46, valem 4.2]:

$$E = \frac{\rho \cdot g \cdot h \cdot V \cdot \eta_t}{3600}, \text{ J} \quad (1.1)$$

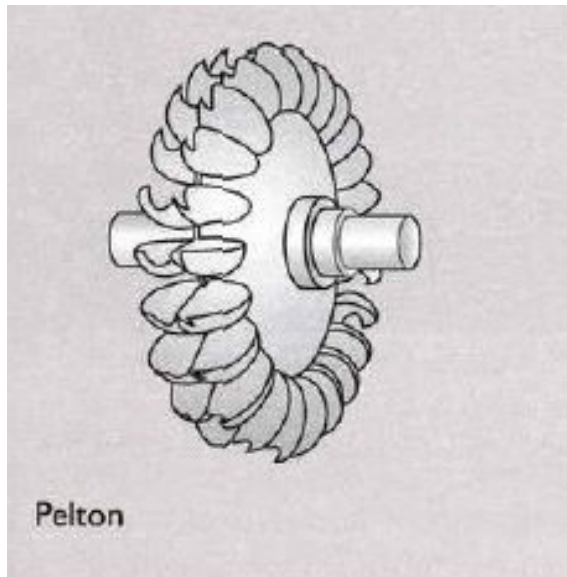
kus  $\rho$  on vee tihedus,  $\text{kg/m}^3$ ;

$g$  – raskuskiirendus,  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ ;

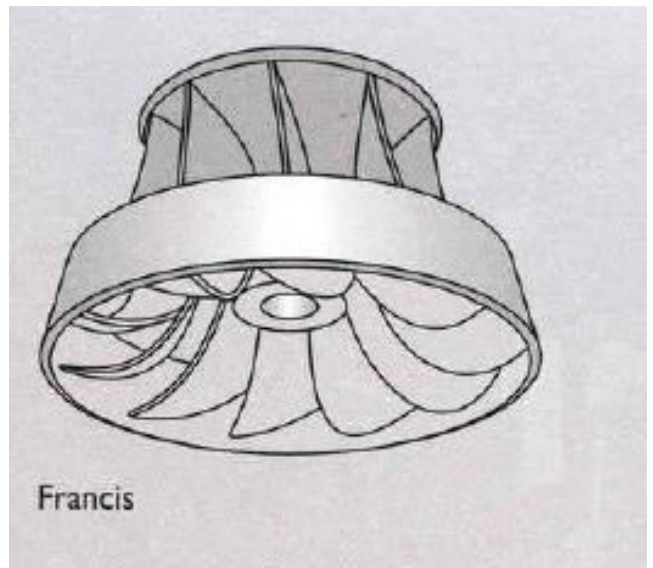
$h$  – kõrguste vahe, m;

$V$  – vee maht,  $\text{m}^3$ ;

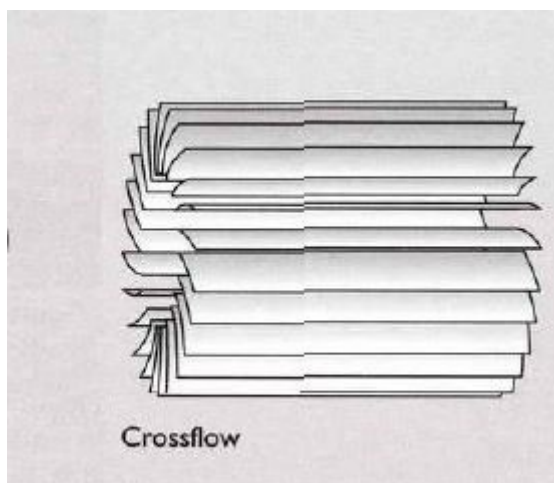
$\eta_t$  – turbiini kasutegur, %.



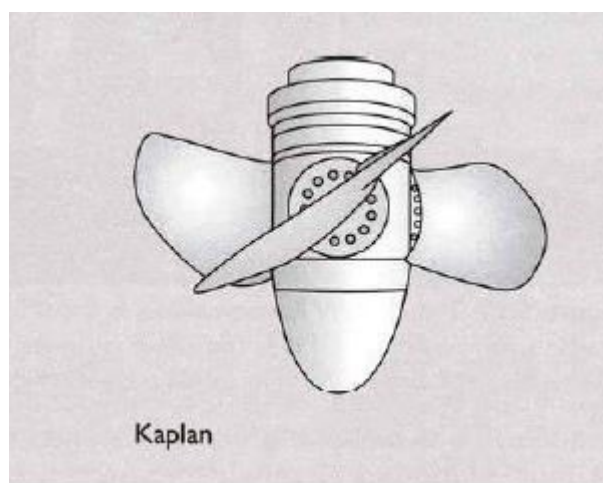
**Joonis 1.2.** Pelton tüüpi turbiin [6]



**Joonis 1.3.** Francis tüüpi turbiin [6]



**Joonis 1.4.** Ossberger tüüpi turbiin [6]



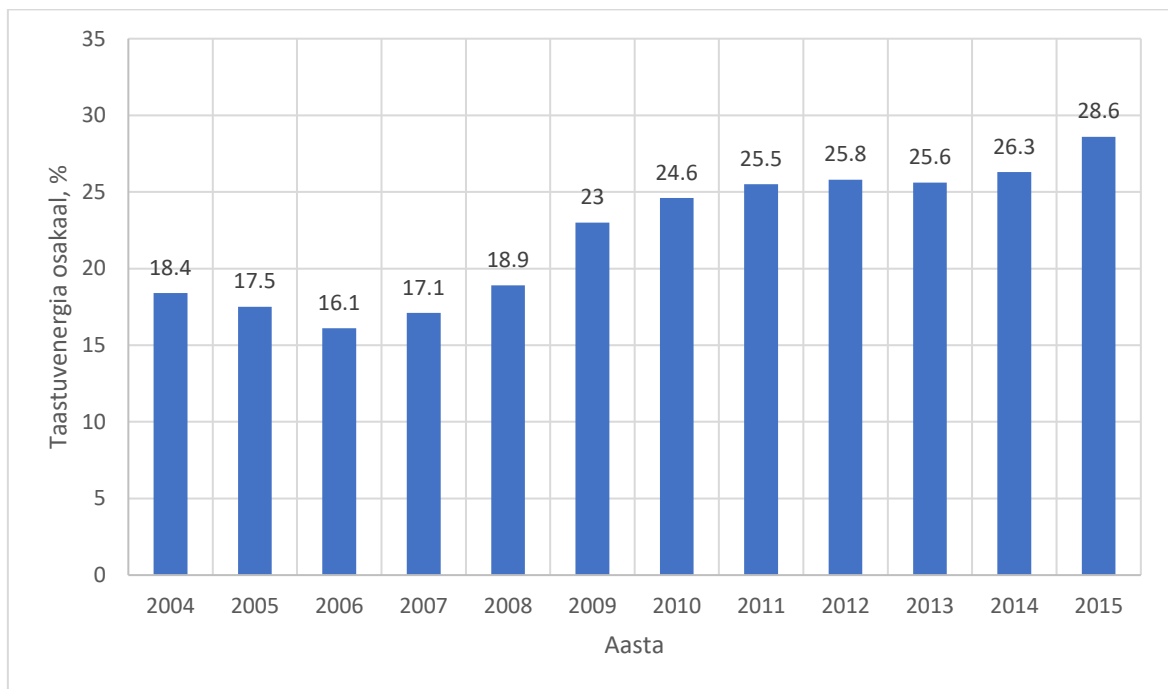
**Joonis 1.5.** Kaplan tüüpi turbiin [6]

Jaama eelisteks on suurte koguste salvestamise võimalus, mis võimaldab konkureerida ka muude energiatootmise viisidega, kiire reageerimiskiirus ning pikk eluiga. Puudustena saame välja tuua erinõuded geograafilisele asukohale, mõju keskkonnale ning mõõdukas kasutegur [5, lk 47].

## 1.2. DIREKTIIVIDE ÜLEVAADE

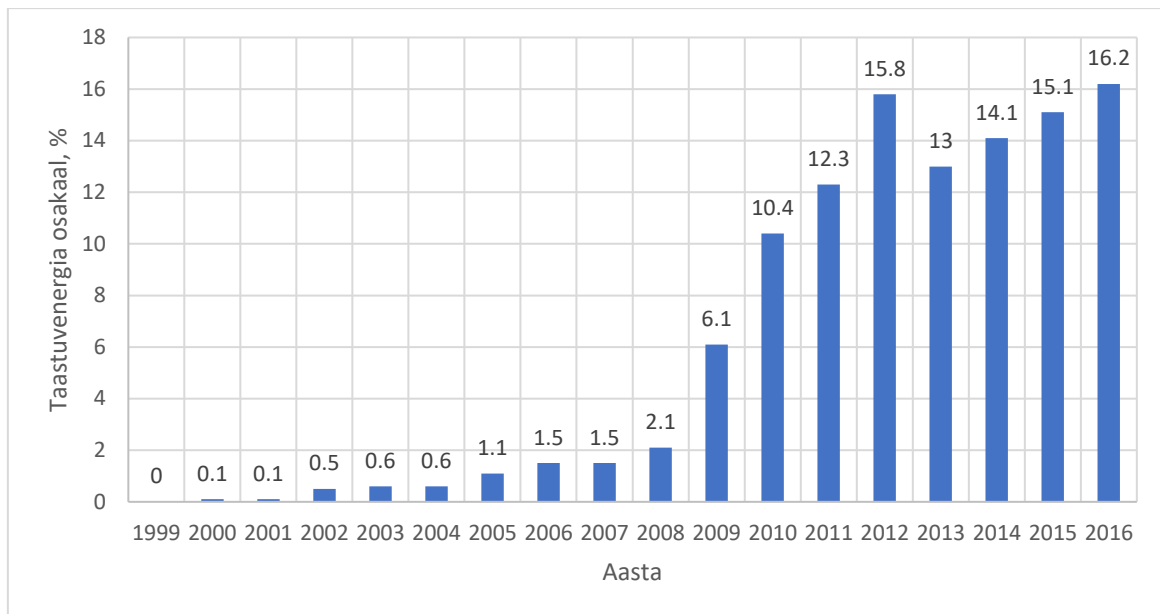
Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiiv 2009/28/EÜ näeb ette, et aastaks 2020 peavad liikmesriigid suurendama taastuvatest energiaallikatest toodetava energia osakaalu kogutarbimises 20%-ni [7]. Vastavalt Eesti Majandus – ja Kommunikatsiooniministeeriumi koostatud arengukavale „Eesti taastuvenergia tegevuskava aastani 2020“ on võetud riiklikuks eesmärgiks jõuda osakaaluni summaarses lõpptarbimises 25%-ni [8]. 2015. aastal oli taastuvenergia osakaal Eestis 28,6%, seega on 2020.aastaks seatud eesmärk täidetud [9, lk 9]. Lähtuvalt ENMAK 2030 eesmärgist soovitakse aastaks 2030 jõuda taastuvenergia osakaaluni 50% [10]. Seega on erinevatel alternatiivsetel elektrienergia tootmis- või salvestusviisidel suur potentsiaal nii direktiivide kui ka Eesti energiapoliitika eesmärgi täitmise osas – Eesti majanduskliima ja keskkonnaseisundi parendamine ning pikaajalise konkurentsivõime kasv.

Eesti taastuvenergia eesmärgi täitmine proovitakse saavutada peamiselt soojusmajanduses kasutatavalt põlevkiviõlilt ja maagaasilt üleminekut biokütustele, kuid elektri- ja transpordisektori taastuvenergia alameesmärgid on seni veel täitamata. Elektri- ja transpordisektori taastuvenergia osakaalud peaksid jõudma 17,6% ja 10% aastaks 2020 [9, lk 9].



**Joonis 1.6.** Taastuvenergia osakaal lõpptarbimises Eestis 2004-2015.aastal [11]

Taastuvenergia osatähtsus energia lõpptarbimises arvutatakse Eurostatis. 2009/28/EÜ direktiivis kasutatud protsenti loetakse hinnanguliseks näitajaks, kuna vastav statistiline süsteem pole veel täpselt paigas [12].

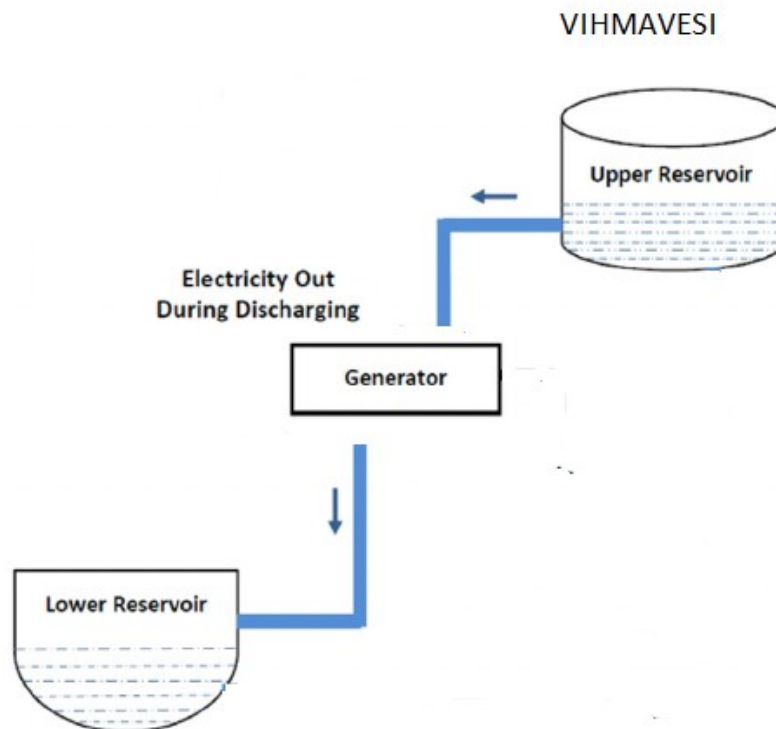


**Joonis 1.7.** Taastuvenergiast toodetud elektri osakaal elektri kogutarbimises Eestis [11]

### 1.3. VIHMAVEE POTENTIAAL

Vihmvee kogumisel reservuaari on võimalik salvestada vee potentsiaalne energia. Vee voolamisel läbi hüdro-generaatori saame mehaanilise energia muundada elektrienergiaks. Sellise kasutusviisi rakendamisel võime vihmavett nimetada taastuvaks energiaallikaks. Asukoha geoloogilised omadused ei ole määravad ning lisaenergiat vee pumpamiseks ei ole vaja, lisaks ei jäta selline elektrienergia tootmisviis jälge ka ökosüsteemile. Ülemine mahuti täidetakse vihmaveega ning lisaenergiat süsteemi andma ei pea.

Sadevee potentsiaali kasutamiseks on vajalik mahuti, hüdro-generaator ning läbi generaatori voolava vee ära juhtimine (Joonis 1.8).



**Joonis 1.8.** Vihmavee elektri muundamise põhimõtteskeem.

Vihmavee kogumine võib toimuda kasutades sadeveerenne, mis suunavad vihmavee mahutisse, mahuti peaks olema varustatud ujukiga või anduriga, mis avab kraani, kui mahuti on veega täitunud. Generaatorist läbivoolanud vesi tuleks juhtida soovitud kohta. Kasutades vihmavee kogumisel vihmaveerenne, võimaldaks kogu katuse pindalale sadava vee kogumise.

Teine võimalus on asetada mahuti hoone katusele. Sellisel juhul tuleb arvestada, et kogu katuse pindalale sadavat vett ei ole võimalik koguda. Kogutud vee hulk sõltub mahuti avaristlõike pindalast. Mida suurem on mahuti ava pindala, seda suuremal hulgal saame sadavett koguda ja seda suurem on potentsiaalne energia, mida elektrienergiaks muundatakse.

Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi katusel on sadevee kogumiseks kallakud, millega suunatakse vihmavett. Katuse pindalaks on ligikaudu 600m<sup>2</sup>. Sellise lahenduse korral oleks võimalik sadavett väga lihtsasti koguda ning läbi generaatori lasta, kuid oluline on filtrite või sõelade vajadus, et generaatori ja torude ummistusi vältida.



**Joonis 1.9.** Eesti Maaülikooli Tehnikamaja aerofoto [13]

Sajuvee potentsiaalse energia suurus sõltub vee massist ning mahuti kõrgusest. Potentsiaalset energiat kirjeldab valem:

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h, \text{ J} \quad (1.2)$$

kus  $m$  on vee mass, kg;

$g$  – raskuskiirendus,  $\text{m/s}^2$ ;

$h$  – mahuti kõrgus maapinnast, m.

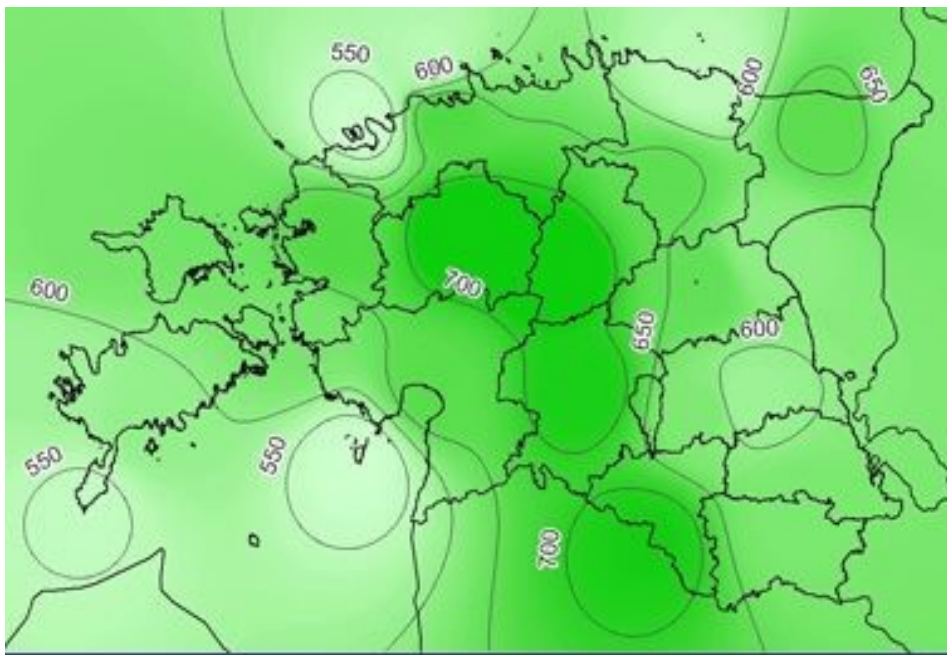
Mida kõrgemal maapinnast on mahuti või reservuaar ja mida suurem on kogutud vee mass, seda suuremat potentsiaalset energiat kogutud vesi omab. Tehnikamaja näitel oleks kõige efektiivsem viis vihmavee kogumiseks kasutada sadeveetorusid. Nende kaudu on võimalik sadevesi suunata edasi mahutisse, sedasi saab kogu katuse pindalale sadava vee kokku koguda. Tehnikamaja  $600\text{m}^2$  katuse pinnale sadav vesi suunatakse ära kasutades katusel olevaid kallakuid ning vihmaveetorusid.



## 2. ILMASTIKU ÜLEVAADE

### 2.1. SADEMETE HULK

Eesti asub parasvöötme põhjaosas, täpsemalt merelise ja mandrilise kliima üleminekuvööndis. Võrreldes Lääne-Euroopaga on sademete hulk väiksem, võrreldes Euraasia mandri sisealale jäävate piirkondadega esineb meil rohkem sademeid. Aasta keskmine sademete summa jääb 550-750mm vahele (Joonis 2.1). Kõige enam sademeid esineb Lääne ja Kesk-Eestis, mis on tingitud merelt saabuvate niiskete õhumasside tõusust maismaa kohal [14].



**Joonis 2.1.** Aasta keskmine sademete summa Eestis, mm [14]

Käesolevas töös kasutan sademete hulga määramiseks ning analüüsimiseks Tartu Ülikooli ilmajaama andmeid. Tartu Ülikooli ilmajaam asub Füüsika Instituudis ning kuulub keskkonnafüüsika labori alla. Andmebaas väljastab vastavalt päringule mõõtetulemused iga viie sekundi järel. Kuna ilmajaama asub Eesti Maaülikoolile võrdlemisi lähedal, siis võime andmeid usaldada ning vajaminevates arvutustest kasutada.

Vastavalt Statistikaameti ja Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi andmetele defineeritakse sademete hulk järgmiselt:

*„Sademete hulk – veekihi paksus (millimeetrites), mis moodustub horisontaalpinnale sadanud vihmast, uduvihmast, tugevast kastest ja udust, aga samuti sulanud lumest ning rahest või teistest sademeliikidest eeldusel, et sealt vett ära ei valgu, pinnasesse ei nõrgu ega aura.“ [15]*

Sademete hulga määramisel ja parameetrite arvutamisel kasutatakse WMO (*World Meteorology Organisation*) ehk Rahvusvahelise Meteoroloogia Organisatsiooni metoodikat. Sellele vastavalt määratakse sademete hulk järgmiselt: [15]

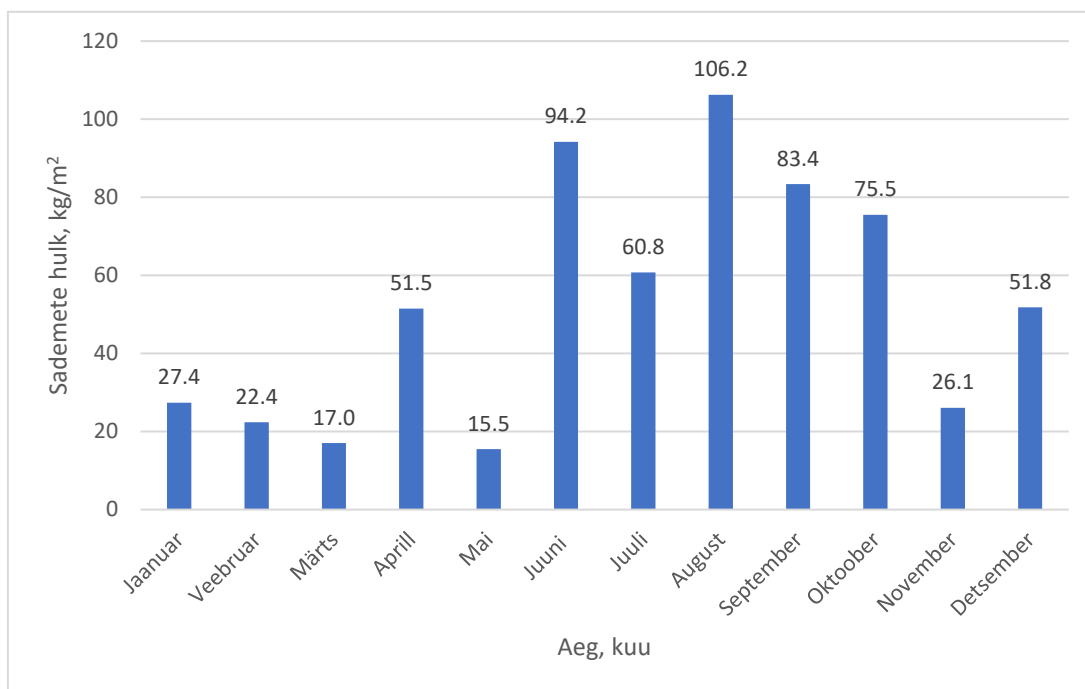
$$mm = \frac{kg}{m^2} = \frac{l}{m^2}$$

**Tabel 2.1.** Sademete hulk kuude lõikes [16]

Jrk. nr.	Aeg, kuu	Sademete hulk, kg/m <sup>2</sup>
1.	Jaanuar	27,4
2.	Veebruar	22,4
3.	Märts	17,0
4.	Aprill	51,5
5.	Mai	15,5
6.	Juuni	94,2
7.	Juuli	60,8
8.	August	106,2
9.	September	83,4
10.	Oktoober	75,5
11.	November	26,1
12.	Detsember	51,8
13.	<b>Kokku 631,7</b>	

Sadevee andmeid kasutasin vahemikus 1.jaanuar 2017 kuni 31.detsember 2017. Kõige rohkem sadas augusti kuus, kõige vähem mai kuus. Kõige suurema sademete hulgaga vahemikuks on juuni kuni oktoober. Kokku sadas 2017.aasta jooksul 631,7 kg/m<sup>2</sup> sademeid (Tabel 2.1).





**Joonis 2.2.** Sademete hulk [16]

Edasistes arvutustest kasutame maksimaalse sajuvee kogusena suurust  $631,7 \text{ kg/m}^2$ . Vastavalt Riigi Ilmateenistuse andmetele oli 2017. aasta jaanuari ja veebruari keskmine õhutemperatuur vastavalt  $-2,1 \text{ °C}$  ja  $-2,5 \text{ °C}$  [17]. Arvutustes käsitleme ka jaanuari ja veebruari sademeid vihmaveena.

### 3. ENERGIA ARVUTUSED TEHNIKAINSTITUUDI NÄITEL

#### 3.1. POTENTSIAALNE ENERGIA

Eesti Maaülikooli Tehnikainstituudi näitel arvutame erinevad parameetrid, et leida teoreetilise kogutava potentsiaalse energia arvutuslikku suurust. Lisaks arvutame potentsiaalsest energiast elektrienergiaks muundatud energia hulga, arvestades summaarset aastast sademete hulka (Tabel 2.1.)

Kasutatav hüdro-generaator koos andmetega [18]. Ülemiseks reservuaariks arvestame Tehnikamaja katusel terve katuse pindalaga  $600\text{m}^2$ , alumine mahuti või äravool asuks keldrikorrusel, sellise paigutuse korral oleks kõrguste vaheks 25 meetrit (Tabel 3.1).



**Joonis 3.1.** Vaade Eesti Maaülikooli Tehnikamaja katusele

**Tabel 3.1.** Lähteandmed

Tehnikamaja	
Katuse laius $a$ , m	10
Katuse pikkus $b$ , m	60
Kõrguste vahe $h$ , m	25
Katuse pindala $S$ , m <sup>2</sup>	600

Leiame aasta jooksul Tehnikamaja katuse pindalale sadava vihmavee koguse  $Q_{Tehnikamaja}$

$$Q_{Tehnikamaja} = S \cdot Q_{Aasta}, \text{ kg} \quad (3.1)$$

kus  $S$  on Tehnikamaja katuse pindala, m<sup>2</sup>;

$Q_{aasta}$  – summarne aastane sademete hulk,  $Q_{Aasta} = 631,7 \text{ kg/m}^2$ .

$$Q_{Tehnikamaja} = 600 \cdot 631,7 = 380 \cdot 10^5 \text{ kg}$$

Leiame potentsiaalse energia (valem 1.2)

$$E_{pot} = 380 \cdot 10^5 \cdot 9,81 \cdot 25 = 93,0 \text{ MJ}$$

Teisendame teoreetilise potentsiaalse energia kilovatt-tundidesse.

$$E_{pot, kW \cdot h} = \frac{E_{pot, J}}{3,6 \cdot 10^6} = \text{kW} \cdot \text{h} \quad (3.2.)$$

$$E_{pot} = 93,0 \cdot 10^6 = \frac{93,0 \cdot 10^6}{3,6 \cdot 10^6} = 25,8 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

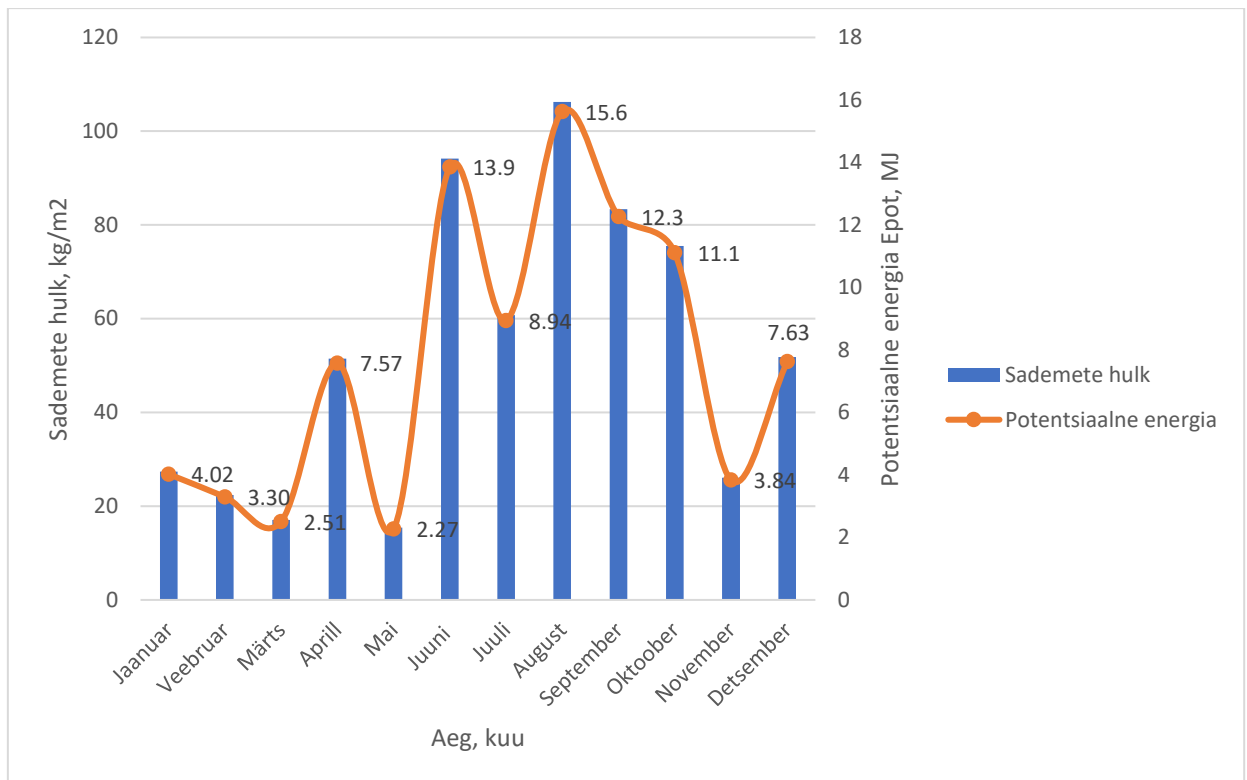
Sarnaselt on leitud ka eraldi potentsiaalsed energiad kuude lõikes ja summeeritult.

Tulemused on kantud tabelisse 3.2.

**Tabel 3.2.** Sademete hulk koos arvutatud potentsiaalse energiaga

Jrk. nr.	Aeg, kuu	Sademete hulk, kg/m <sup>2</sup>	Potentsiaalne energia $E_{pot}$ , MJ	Potentsiaalne energia $E_{pot}$ , kW·h
1.	Jaauar	27,4	4,02	1,12
2.	Veebruar	22,4	3,30	0,92
3.	Märts	17,0	2,51	0,70
4.	Aprill	51,5	7,57	2,10
5.	Mai	15,5	2,27	0,63
6.	Juuni	94,2	13,9	3,85
7.	Juuli	60,8	8,94	2,48
8.	August	106,2	15,6	4,34
9.	September	83,4	12,3	3,41
10.	Oktoober	75,5	11,1	3,09
11.	November	26,1	3,84	1,07
12.	Detsember	51,8	7,63	2,12
<b>Kokku</b>		<b>631,7</b>	<b>93,0</b>	<b>25,8</b>

Kuna potentsiaalne energia on sõltuvuses vee massist, siis sajusemate kuude jooksul on ka Tehnikamaja katusele sadava vee potentsiaalse energia kõige suurem suve- ning sügiskuudel. Sellest lähtuvalt oleks ka elektrienergia tootlikus suurim vastavatel kuudel.



**Joonis 3.2.** Sademete hulk kuude lõikes koos potentsiaalse energiaga

### 3.2. ELEKTRIENERGIA

Toodetud elektrienergia sõltub suuresti ka kasutatavast hüdro-generaatorist, generaatori ehitusest ning turbiinist, lisaks ka selle kasutegurist  $\eta_{gen}$ . Elektrienergia arvutamisel kasutame katselises osas leitud suurimat kasutegurit, mis kirjeldab mitte ainult generaatori kasutegurit, vaid terve süsteemi oma. (Tabel 5.1).

Elektrienergia arvutamisel kasutame valemit:

$$E_{el} = \frac{E_{pot} \cdot \eta_{süsteem1}}{100}, \quad (3.3)$$

kus  $\eta_{süsteem1}$  on katselises osas leitud kasutegur, %

$$E_{el} = \frac{25,8 \cdot 2,8}{100} = 0,72 \text{ kW} \cdot \text{h}$$

## 4. KATSELINE OSA

Katselise osa teostasime Eesti Maaülikooli Tehnikamaja ruumides, enamasti soojusõpetuse laboris, katelseadmete laboris ning trepikojas kõige alumisel korrusel. Katseseade paigutati Tehnikamaja tagumisse trepikotta. Ülemine reservuaar asus viiendal korrusel, alumine keldri korrusel. Kahe mahuti vaheline kõrgus oli 20 meetrit, mahuteid ühendas omavahel 30 meetrine aiavoolik ning hüdro-generaator (Joonis 4.1).



**Joonis 4.1.** Katseseade Tehnikamaja 0-korrusel

## 4.1. SEADME ÜLEVAADE

Katseseade koosneb ülemisest mahutist, veevoolikust koos kuulkraaniga, hüdro-generaatorist, alumisest mahutist, takistist ning andmesalvestist.

Ülemise mahuti maksimaalne maht on 50 liitrit (Joonis 4.2).



**Joonis 4.2.** Ülemine mahuti

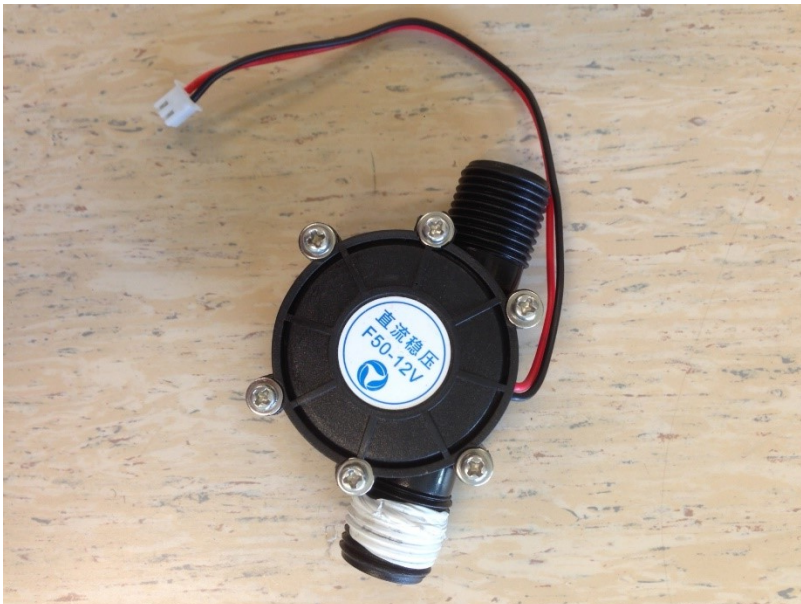
Vee juhtimiseks ning kontrollimiseks kasutasime aiavoolikut läbimõõduga  $\frac{1}{2}$  tolli. Lisatud oli ka kuulkraan. Veevooliku kinnitasime trepikojas käsipuude külge.

Katseseadme põhiliseks komponendiks on hüdro-generaator. Katselises osas kasutasime kahte 12 V generaatorit (Joonis 4.3; 4.4).





**Joonis 4.3.** Katses kasutatud 12V generaator



**Joonis 4.4.** Katses kasutatud generaator

Katselises osas mõõtsime vee voolamisel läbi hüdro-generaatori, generaatori klemmidel tekkivat pinget, koormusena kasutasime kahte erinevat takistust, lisaks mõõtsime ka vee voolamisele kuluvat aega. Mõõteseadmena kasutasime Keysight Technologies Agilent 34972A andmesalvestit, mille mõõtemääramatus, kasutatud mõõtepiirkonnas on vastavalt kasutusjuhendile järgmine: [19]

$$\pm(\% \text{ of reading} + \% \text{ of range}) = 0,0015 + 0,0006 = 0,0021$$



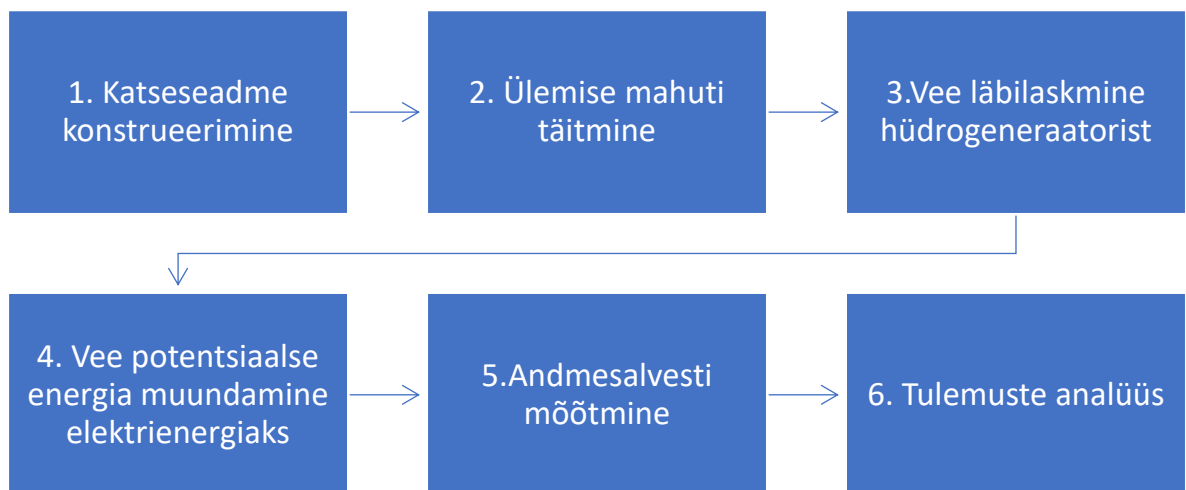


**Joonis 4.5.** Katses kasutatud andmesalvesti

Vee ja kanistri massi määramiseks iga katse jooksul kasutasime katlalaboris olevat kaalu. Vee voolamise takistamiseks kasutasime *aluplex* toru juppi, koos  $\frac{1}{2}$  tolli üleminekuga väliskeermega hüdrogeneraatori avale.

## 4.2. STRUKTUURSKEEM

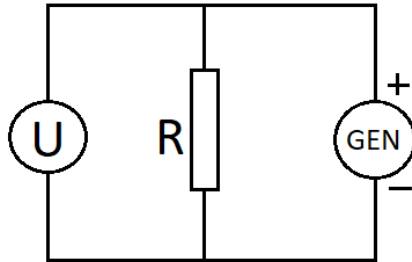
Katse alguseks lugesin katseseadme konstrueerimise ja mõõteseadmete seadistamise. Mõõtetulemuste saamiseks täitsime ülemise mahuti veega, mille mass oli eelnevalt määratud. Pärast kanistri tühjendamist ülemisse mahutisse kaaluti ka tühi kanister. Seejärel alustasime andmete salvestamist ning avasime kuulkraani kuniks kogu vesi oli generaatorist läbi voolanud. Generaatorist läbi voolanud vee kogusime kanistrisse ning kaalusime selle uuesti. Katset korraldati neli korda koos vee vooluhulka piirava takistusega ning kahe erineva generaatoriga.



**Joonis 4.6.** Katset kirjeldav struktuurskeem

### 4.3. ELEKTRIAHELA SKEEM

Katselise osa elektriaheelas kasutasime generaatorit, takistit ning andmesalvestit pinge väärtuste salvestamiseks. Mõõtmisintervalliks oli määratud üks sekund (Joonis 4.6).



**Joonis 4.7.** Katse elektriahela skeem

### 4.5. KATSEANDMED

#### 4.5.1. Üldine informatsioon

Kokku sooritasime neli erinevat katset ning mõõtsime andmesalvestiga pinge väärtused hüdro-generaatori klemmidel, kui sellest vesi läbi voolas. Koormamiseks kasutasime kahte erinevat reguleeritavat takistit. Lisaks mõõtsime igal katsel süsteemi sisse antud vee massi ning süsteemist välja tulnud vee massi (Tabel 4.1). Takistite väärtused mõõtsime andmesalvestiga kui ka mõõteseadmega PeakTech 3415.

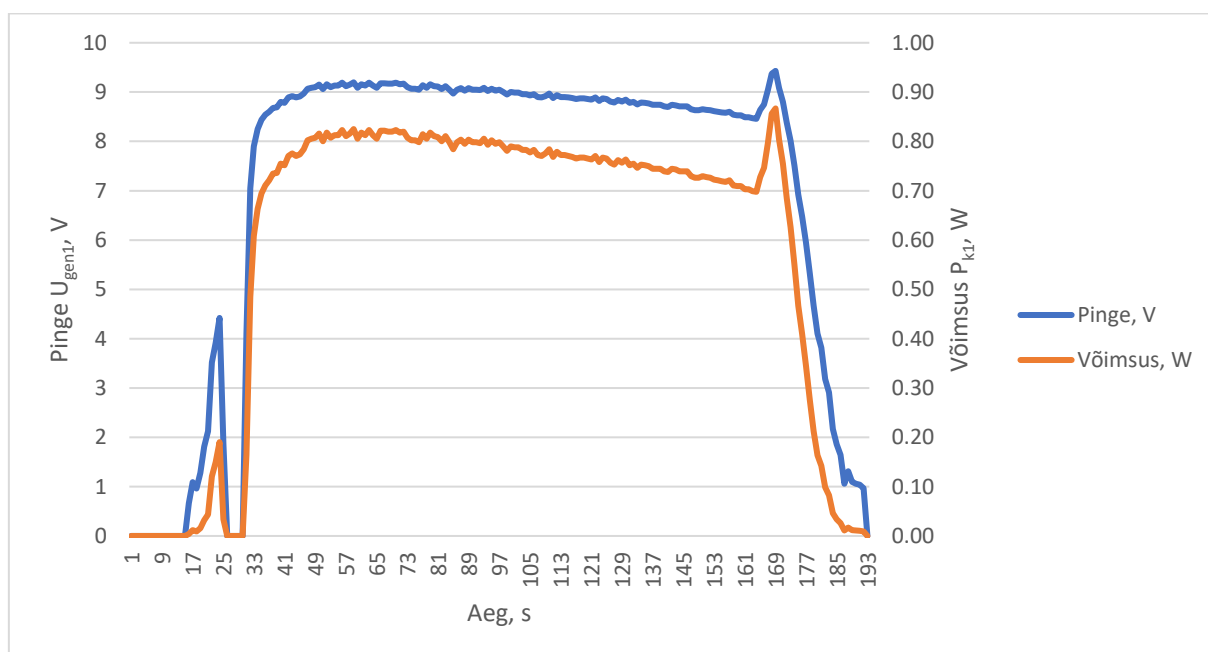
**Tabel 4.1.** Katseid iseloomustavad suurused ning tegurid

Katse nr.	$m_{\text{vesisisse}}$ , kg	$m_{\text{vesivälja}}$ , kg	$m_{\text{kanister}}$ , kg	$m_{\text{vesikadu}}$ , kg	$R$ , $\Omega$	Vee vooluhulga piiraja
1.	19,8	19,4	2,26	0,42	102,6	jah
2.	19,5	19,4	2,10	0,1	102,6	ei
3.	20,7	20,7	2,14	0,02	102,6	jah
4.	20,8	20,7	2,10	0,06	204,7	jah

Süsteemi jääva vee masside erinevused on ilmselt tingitud, ülemise mahuti täitmisel tekkivate kadudega ning vooliku sisse jääva veega (Tabel 4.1).

#### 4.5.2. Esimene katse

Esimeses katses kasutasime 12V hüdro-generaatorit koos vee vooluhulka piirava toruga. Takisti oli reguleeritud 102,6  $\Omega$ , ülemisse mahutisse läks 19,8 kg vett ning teise mahutisse voolas 19,4 kilogrammi vett (Tabel 4.1).

**Joonis 4.8.** Esimese katse tulemused - pinge generaatori klemmidel koos võimsusega

Generaatori aritmeetiline keskmine pinge

$$U_{k1} = 7,62 \text{ V}$$

Joonisel kuvatud seadme poolt arendatav võimsus  $P_{k1}$  on leitud valemiga

$$P_{k1} = \frac{U_{k1}^2}{R}, \quad (4.1)$$

kus  $U_{k1}$  on pinge generaatori klemmidel, V ;

$R$  – takistus,  $\Omega$

Leiame veehulga voolamise kiiruse  $Q_1$

$$Q_1 = \frac{m_{\text{veesisisse1}}}{t_1}, \quad (4.2)$$

kus  $m_{\text{veesisisse1}}$  on esimeses katses süsteemi sisse antud vee mass;

$t_1$  – katse kestvus,  $t = 192 \text{ s}$

$$Q_1 = \frac{19,8}{192} = 0,10 \text{ kg/s}$$

Leiame veega ülemisse mahutisse antud potentsiaalse energia  $E_{\text{pot1}}$  (valem 1.2).

$$E_{\text{pot1}} = 19,8 \cdot 9,81 \cdot 20 = 3881 \text{ J}$$

Leiame seadme võimsuse

$$P_{k1} = \frac{U_{k1}^2}{R} = \frac{7,62^2}{102,6} = 0,57 \text{ W}$$

Leiame seadme poolt toodetud energia  $E_{\text{seade1}}$

$$E_{\text{seade1}} = P_{k1} \cdot t_1 \quad (4.3)$$

$$E_{\text{seade1}} = 0,57 \cdot 192 = 108,7 \text{ J}$$

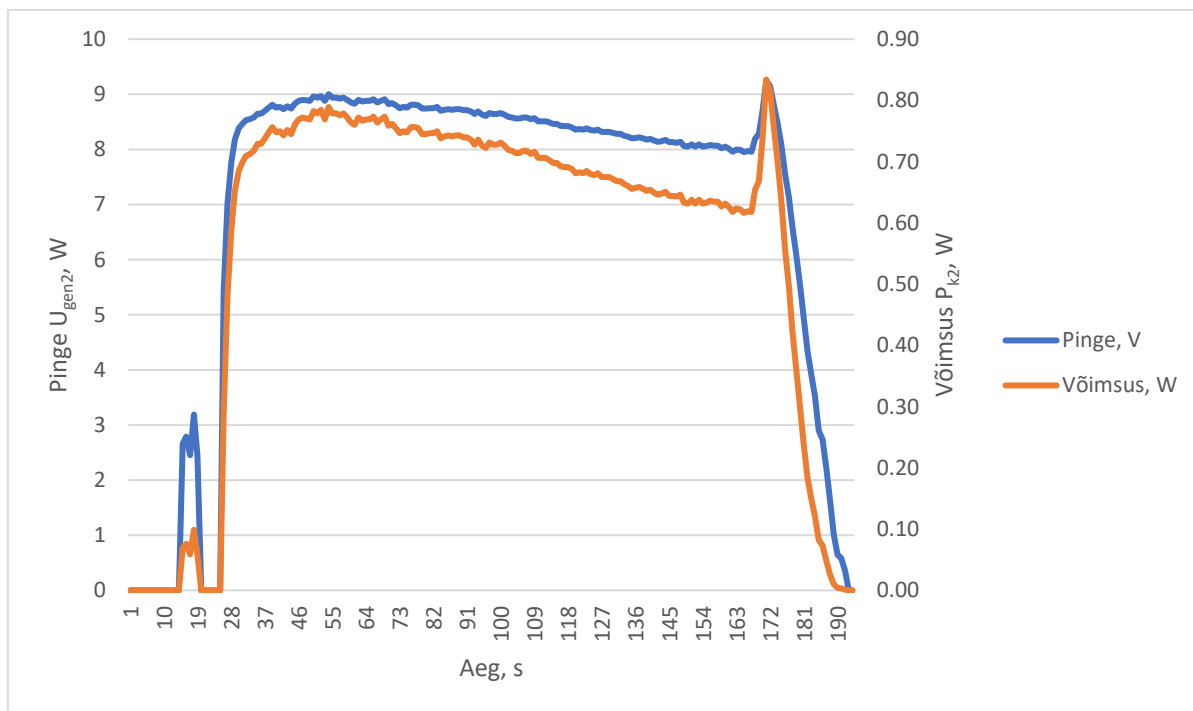
Leiame terve süsteemi kasuteguri  $\eta_{\text{süsteem1}}$

$$\eta_{\text{süsteem1}} = \frac{E_{\text{seade1}}}{E_{\text{pot1}}} \cdot 100 \quad (4.4)$$

$$\eta_{\text{süsteem1}} = \frac{108,7}{3881} \cdot 100 = 2,80 \%$$

### 4.5.3. Teine katse

Teises katses kasutasime sama hüdro-generaatorit, mis esimeses katses, kuid ilma vee vooluhulka piirava toruta (Joonis 4.3). Koormustakistust ei muudetud, ülemisse mahutisse läks 19,5 kg vett ning teise mahutisse voolas 19,4 kg vett (Tabel 4.1).



**Joonis 4.9.** Teise katse tulemused – pingeline generaatori klemmidel koos võimsusega

Generaatori aritmeetiline keskmine pingeline

$$U_{k2} = 6,95 \text{ V}$$

Leiame veehulga voolamise kiiruse  $Q_2$

$$Q_2 = \frac{m_{\text{veesisse2}}}{t_2} = \frac{19,5}{193} = 0,10 \text{ kg/s}$$

Leiame veega ülemisse mahutisse antud potentsiaalse energia  $E_{\text{pot2}}$

$$E_{\text{pot2}} = 19,5 \cdot 9,81 \cdot 20 = 3834 \text{ W}$$

Leiame seadme võimsuse

$$P_{k2} = \frac{U_{k2}^2}{R} = \frac{6,95^2}{102,6} = 0,47 \text{ W}$$

Leiame seadme poolt toodetud energia  $E_{seade2}$

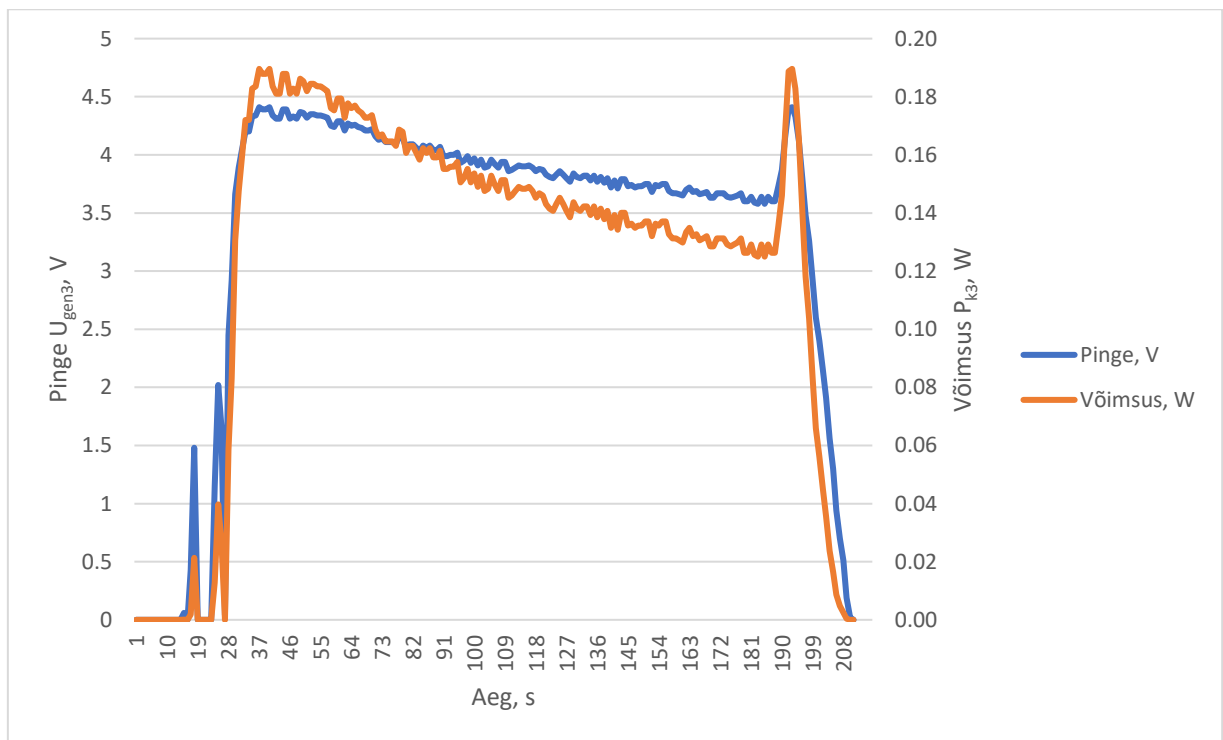
$$E_{seade2} = P_{k2} \cdot t_2 = 0,47 \cdot 193 = 90,9 \text{ J}$$

Leiame süsteemi kasuteguri teisel katsel  $\eta_{süsteem2}$

$$\eta_{süsteem2} = \frac{E_{seade2}}{E_{pot2}} \cdot 100 = \frac{90,9}{3834} \cdot 100 = 2,37 \%$$

#### 4.5.3. Kolmas katse

Kolmandas katses kasutasime teist hüdro-generaatorit koos vee vooluhulka piirava toruga. Koormustakistust ei muudetud, ülemisse mahutisse läks 20,7 kg vett ning teise mahutisse voolas 20,7 kg vett (Tabel 4.1).



**Joonis 4.10.** Kolmanda katse tulemused – pinge generaatori klemmidel koos võimsusega

Generaatori aritmeetiline keskmine pinge

$$U_{k3} = 3,30 \text{ V}$$

Leiame veehulga voolamise kiiruse  $Q_3$

$$Q_3 = \frac{m_{vesisisse3}}{t_3} = \frac{20,7}{211} = 0,10 \text{ kg/s}$$

Leiame veega ülemisse mahutisse antud potentsiaalse energia  $E_{pot3}$

$$E_{pot3} = 20,7 \cdot 9,81 \cdot 20 = 4069 \text{ J}$$

Leiame seadme võimsuse

$$P_{k3} = \frac{U_{k3}^2}{R} = \frac{3,3^2}{102,6} = 0,11 \text{ W}$$

Leiame seadme poolt toodetud energia  $E_{seade3}$

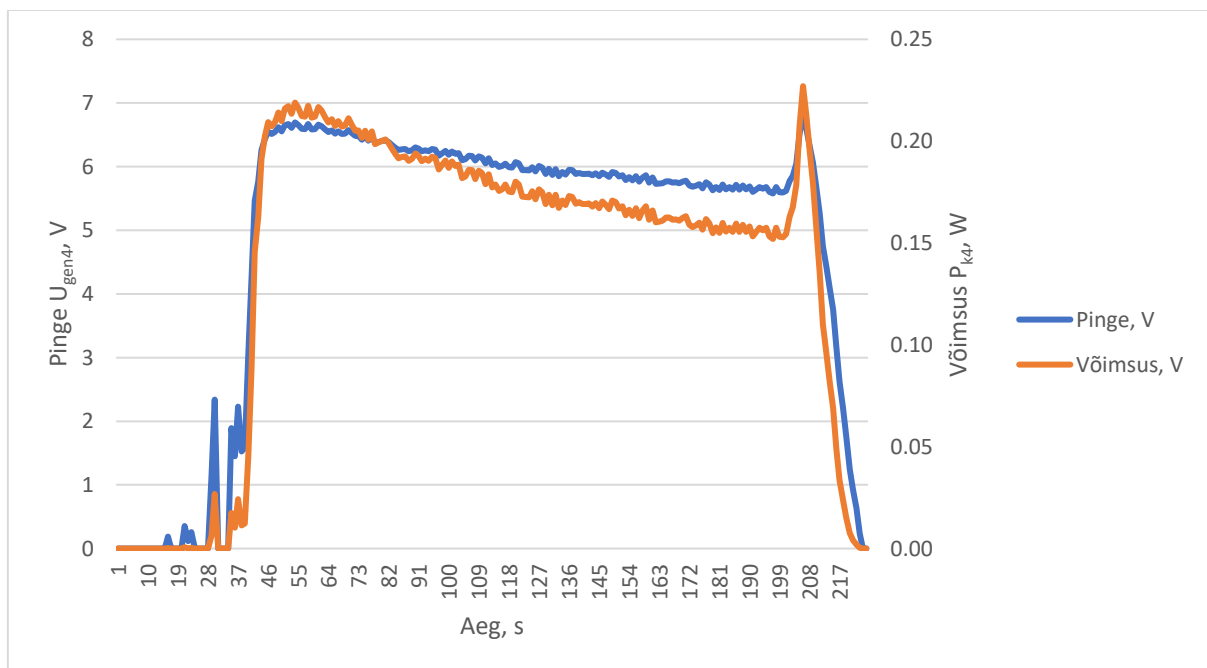
$$E_{seade3} = P_{k3} \cdot t_3 = 0,11 \cdot 211 = 22,4 \text{ J}$$

Leiame süsteemi kasuteguri kolmandal katsel  $\eta_{süsteem3}$

$$\eta_{süsteem3} = \frac{E_{seade3}}{E_{pot3}} \cdot 100 = \frac{22,4}{4069} \cdot 100 = 0,55 \%$$

#### 4.5.4. Neljas katse

Neljandas katses kasutasime sama hüdro-generaatorit, mis kolmandas katses, koos veehulga piirajaga, kuid muutime koormustakistust  $R = 204,7 \Omega$ . Ülemisse mahutisse läks 20,8 kg vett ning teise mahutisse voolas 20,7 kg vett (Tabel 4.1).



**Joonis 4.11.** Neljanda katse tulemused – pinge generaatori klemmidel koos võimsusega



Generaatori aritmeetiline keskmine pinge

$$U_{k4} = 4,80 \text{ V}$$

Leiame veehulga voolamise kiiruse  $Q_4$

$$Q_4 = \frac{m_{\text{veesisse4}}}{t_4} = \frac{20,8}{225} = 0,092 \text{ kg/s}$$

Leiame veega ülemisse mahutisse antud potentsiaalse energia  $E_{pot4}$

$$E_{pot4} = 20,8 \cdot 9,81 \cdot 20 = 4073 \text{ J}$$

Leiame seadme võimsuse

$$P_{k4} = \frac{U_{k4}^2}{R} = \frac{4,8^2}{204,7} = 0,11 \text{ W}$$

Leiame seadme poolt toodetud energia  $E_{seadme4}$

$$E_{seade4} = P_{k4} \cdot t_4 = 0,11 \cdot 225 = 25,4 \text{ J}$$

Leiame süsteemi kasuteguri neljandal katsel  $\eta_{süsteem4}$

$$\eta_{süsteem4} = \frac{E_{seade3}}{E_{pot4}} \cdot 100 = \frac{25,4}{4073} \cdot 100 = 0,62 \%$$

## 5. TULEMUSED

### 5.1. KATSELISE OSA ANALÜÜS

Katselise osa eesmärkideks oli võrrelda erinevate generaatorite tulemusi, määrata seadme kasutegurid, uurida, kuidas erinevad tegurid kasutegurit mõjutavad ning leida võimalusi süsteemi tootlikkuse parandamiseks.

Kõige suurema kasuteguri ning süsteemi tootlikkuse saavutasime esimeses ning teises katses. Seadmete kasutegurid varieerusid tunduvalt alustades 0,5% kuni 2,8%-ni. Kolmandas ning neljandas katses kasutasime teist generaatorit, mille puhul süsteemi kasutegur osutus tunduvalt väiksemaks (Tabel 5.1). Üheks põhjuseks võib olla asjaolu, et esimeses ja teises katses kasutatud generaatorile teostasime osalise lahti võtmise järel puhastuse, kolmandas ja neljandas katses kasutatud generaatorile me seda ei teinud. Mõlema generaatori nimipinget on 12 V, kuid nimipinget me ühelgi katsel kätte ei saanud. Kõige suuremateks pinget väärtusteks olid 9,43 V ja 9,25 V vastavalt esimeses ning teises katses.

**Tabel 5.1.** Katselise osa arvutustulemused

Katse nr	$\eta_{\text{süsteem}},$ %	$Q,$ kg/s	$U_k,$ V	$U_{\text{max}},$ V	$E_{\text{seade}},$ J
1	2,80	0,10	7,62	9,43	108,7
2	2,37	0,10	6,95	9,25	90,9
3	0,55	0,10	3,30	4,41	22,4
4	0,62	0,09	4,80	6,87	25,4

Esimese ning teise katse erinevuseks oli vee voolu hulka piirav otsik. Esimeses katses kasutasime piiravat otsikut, teises mitte. Toodetud energiat  $E_{\text{gen}}$  mõjutas otsik ligi 30 J võrra, mis kajastus ka kasuteguris. Kolmanda ning neljanda katse korral kasutasime mõlemal korral piiravat otsikut, kuid tõstisime koormustakistust  $R$ , kasutegur muutus takistuse tõstmisel 0,075 % võrra. Kuna kasuteguri muutus oli niivõrd väike, siis võime öelda, et koormustakistuse muutmise tulemust ei andnud. Seega andis katselises osas kõige parema tulemuse esimesena kasutatud generaator koos vee voolu hulka piirava otsikuga.

## 5.2. SEADME KAOD

Katselisest osast ning tulemustest selgus, et väga suur osa energiast läheb kaduma. Generaatori töötamisel kulub osa energiast ja kaob soojuse näol. Põhilised kaoliigid on mehaanilised, magnetilised ja elektrilised kaod [20, lk 13]. Suure tõenäosusega pole ka kasutatud hüdro-generaatorid taoliseks kasutamiseks mõeldud, vaid vajavad suuremat survet. Generaatori suhteliselt suur soojenemine viitab sellele, et peamisteks kadudeks on turbiini hõõrdumine ehk mehaanilised kaod turbiinis. Kuid lisaks sellele selgub katseandmetest, et kõige suurema pinge saavutab generaatori just vee voolamise lõpufaasis (Joonis 4.8; 4.9, 4.10 ja 4.11). Seega mõjutab ka mahutist vee voolamine generaatori kasutegurit. Üks põhjustest võib olla õhu juurdepääs voolikusse ning vesi saab kiiremini liikuda, mis põhjustab ka generaatori labade kiirema pöörlemise, mis omakorda tõstab klemmidel tekkivat pinget. Üks võimalusi kadude vähendamiseks ja seeläbi kasuteguri suurendamiseks võib peituda vee voolamises mahutist voolikkuse ning generaatorise, kuid see vajab lisa uurimist.

Elektrimasinate (elektrigeneraatori, - mootor) kasutegurid on üldiselt vahemikus 70-90%, kuid kasutegur sõltub ka masina tüübist ja suurusest. Väga suurte masinate korral võib kasutegur olla üle 98%, väiksemate masinate, alla 10 W nimivõimsusega, võib kasutegur jääda alla 50% [21]. Katses kasutatud generaatori võimsus nimiaandmete järgi 100  $\Omega$  koormustakistuse korral on maksimaalselt 4,5 W, seega ei saa kasutatud generaatorilt oodata ka kõige suuremat kasutegurit, kuid konstantse nimipinge korral oleks kasutegur arendatav vähemalt 5 kuni 10% piirkonda.

## KOKKUVÕTE

Lähtuvalt energeetikasektori kiirest arengust taastuenergia suunas, ning Euroopa Liidu direktiividest, mis kehtestavad liikmesriikidele nõuded elektrienergia tootmise järkjärgulise ülemineku taastuvate energialiikide peale, on iga energiaühik väga olulise hinnaga nii loodusele kui ka majandusele. Seega on ka oluline uurida erinevaid alternatiivseid energiaallikaid nagu sajuvee kasutamine, mille ökoloogiline jalajälg on väga väike või puudub üldse, mis ei vaja lisaenergiat ning on täiesti autonoomne.

Käesolevas töös uuriti võimalust kasutada sajuvett elektrienergia tootmiseks Eesti Maaülikooli Tehnikamaja näitel. Katselises osas asendati vihmavesi kraaniveega, kuid vee potentsiaalne energia muundati elektrienergiaks ning soojusenergiaks. Katse tulemusena määrati kogu katseseadme kasutegur, mis saadi 2,80%.

Tehnikamaja katuse pinnale sadava sajuvee suunamisel, uurimustöö käigus ülesseatud, katseseadmesse oleks võimalik genereerida 0,72 kW·h elektrienergiat, arvestades katselises osas leitud kasutegurit ja 2017. aasta sademeid. Kuna kogu seadme kaod on suured ning kasutegur väike, siis on selles valdkonnas arenguruumi kadude vähendamise ja kasuteguri suurendamise osas. Terve seadme kasuteguri määrab kasutatava generaatori kasutegur, kuid ka vee voolamine mahutist generaatorisse, mis vajaks edasist uurimist ning lisanduvaid katseid. Samuti vajab analüüsimist elektrienergia salvestamise võimalused, milleks võiksid olla superkondensaatorid, akupangad või toita otse mõnd muud, sobival pingel töötavat, tarbijat. Seadme kasuteguri ja tootlikkuse suurendamisel võiks Tehnikamaja katusele sadavast sajuveest toota piisavalt elektrienergiat, et kasutada seda koos päikesepaneelide ja tuulegeneraatoritega või hoopis viimaste tootlikkuse balansseerimiseks.

Uurimustöö ja katselise osa käigus saadud tulemuste alusel on võimalik väita, et Tehnikamaja näitel suudeti toota sajuveest elektrienergiat, millel võib olla kasuteguri suurendamisel potentsiaali taastuva energiaallikana.

# KASUTATUD KIRJANDUS

1. **E.Risthein** „Energiatehnika ja maailm“. TTÜ Kirjastus. Tallinn 2013.
2. Energiatalgud.Hüdroenergia ressurs.  
[https://energiatalgud.ee/index.php?title=H%C3%BCdroenergia\\_ressurss#H.C3.BCdroenergia\\_potentsiaali\\_hindamise\\_algeeldused](https://energiatalgud.ee/index.php?title=H%C3%BCdroenergia_ressurss#H.C3.BCdroenergia_potentsiaali_hindamise_algeeldused) (2.05.2018)
3. Tehnilise Järelevalve Amet, Pump-hüdroakumulatsioonijaama hoonestusloa keskkonnamõju hindamine.  
[https://www.tja.ee/sites/default/files/content-editors/Ehitus/KMH/eesti\\_pump-hydroakumulatsioonijaama\\_hoonestusloa\\_keskkonnamoju\\_hindamine.pdf](https://www.tja.ee/sites/default/files/content-editors/Ehitus/KMH/eesti_pump-hydroakumulatsioonijaama_hoonestusloa_keskkonnamoju_hindamine.pdf) (25.04.2018)
4. Pumped hydro energy storage system: A technological review - Scientific Figure on ResearchGate. [https://www.researchgate.net/Conceptual-solar-PV-power-based-pumped-hydroelectric-storage-PHES-system\\_fig2\\_271539381](https://www.researchgate.net/Conceptual-solar-PV-power-based-pumped-hydroelectric-storage-PHES-system_fig2_271539381) (25.04. 2018)
5. **A.Rosin, S.Link, H.Hõimoja, I.Drovtar** „Energiasalvestid ja -salvestustehnoloogiad“. Tallinn 2015.
6. Public Research Institute. Water Turbines.  
<http://www.publicresearchinstitute.org/Pages/hydoturbines/hydoturbines.html> (26.04.2018)
7. Euroopa parlamendi ja nõukogu direktiiv 2009/28/EÜ.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:et:PDF> (25.04.2018)
8. Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium “Eesti taastuvenergia tegevuskava aastani 2020”. Peatükk 3.1. Tabel 2.  
[https://www.mkm.ee/sites/default/files/taastuvenergia\\_tegevuskava.pdf](https://www.mkm.ee/sites/default/files/taastuvenergia_tegevuskava.pdf) (12.05.2018)
9. Taastuvenergia aastaraamat 2016.  
[http://www.taastuvenergeetika.ee/wp-content/uploads/2017/06/TEK\\_aastaraamat\\_2016\\_A4\\_5mmBleed\\_31.05.2017-1.pdf](http://www.taastuvenergeetika.ee/wp-content/uploads/2017/06/TEK_aastaraamat_2016_A4_5mmBleed_31.05.2017-1.pdf) (27.04.2018)
10. ENMAK 2030. Energiamajanduse arengukava aastani 2030.  
[https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak\\_2030\\_koos\\_elamumajanduse\\_lisaga.pdf](https://www.mkm.ee/sites/default/files/enmak_2030_koos_elamumajanduse_lisaga.pdf) (25.04.2018)
11. Statistikaamet. Statistikaameti andmebaas.  
<http://pub.stat.ee/px-web.2001/dialog/statfile2.asp> (2.05.2018)
12. Statistikaamet, Taastuvenergia osatähtsus energia summaarses lõpptarbimises.  
<https://www.stat.ee/57168> (25.04.2018)
13. Maaamet. Maamet X-GIS kaardirakendus.  
<https://xgis.maaamet.ee/maps/XGis> (27.04.2019)

14. **S.E.Enno** „Ilma vaatlemine ja ennustamine“ Tartu Ülikool 2012.  
<https://dspace.ut.ee/bitstream/handle/10062/24920/index.html> (12.05.2018)
15. Statistikaamet. Mõisted, metoodika.  
[http://pub.stat.ee/px-web.2001/Database/KESKKOND/04KESKKONNASEISUND/10EHUSEIRE/KK\\_41.htm](http://pub.stat.ee/px-web.2001/Database/KESKKOND/04KESKKONNASEISUND/10EHUSEIRE/KK_41.htm)  
(25.04.2018)
16. Tartu Ülikooli Füüsika Insituut, keskkonnanafüüsika labor „Meteo Arhiiv“.  
<http://meteo.physic.ut.ee/> (12.04.2018)
17. Riigi Ilmateenistus.  
<https://www.ilmateenistus.ee/kliima/kuukokkuvotted/> (12.04.2018)
18. DC Hydroelectric power generaator.  
[https://www.banggood.com/10W-4\\_2-5-12-80V-DC-Hydroelectric-PAower-Micro-hydro-Generator-p-970163.html?cur\\_warehouse=CN](https://www.banggood.com/10W-4_2-5-12-80V-DC-Hydroelectric-PAower-Micro-hydro-Generator-p-970163.html?cur_warehouse=CN) (15.04.2018)
19. Keysight 34972A Data Acquisition/Switch Unit technical overview.  
<https://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/5965-5290EN.pdf?id=1000031228:epsg:dow>  
(5.05.2018)
20. **A. Voldek**. Elektrimasinad I, Valgus, Tln., 1972.
21. Elektrimasinad.  
[http://www.ene.ttu.ee/leonardo/elektro\\_alused/8Elektrimasinad.pdf](http://www.ene.ttu.ee/leonardo/elektro_alused/8Elektrimasinad.pdf) (10.05.2018)

# RAINWATER AS ELECTRIC ENERGY SOURCE ON AN EXAMPLE OF TEHNIKAMAJA

## SUMMARY

Depending on the rapid movement of the energy sector towards renewable energy and the European Union directives which impose requirements for Member States on the gradual transition of energy production to renewable energies, each unit of energy is very valuable for both nature and the economy. Therefore, it is also important to explore various alternative energy sources, such as the use of rainwater. Where the ecological footprint is very small or absent at all and does not require extra energy and is completely autonomous.

In this research paper the possibility to use rainwater for the production of electricity was studied on the example of the Estonian University of Life Sciences Tehnikamaja. In the experimental part, rainwater was replaced with tap water, but the potential energy of the water was converted into electricity and head. As a result of the test, the total efficiency of the system was determined to be 2,8%.

Harvesting the rainwater that falls on the Tehnikamaja's roof and directing it to the test device, that was used during the research work, it would be possible to generate 0,72 kW·h of electricity, taking into account the efficiency of the test device found in the experimental part and using rainfall data from the year 2017. Due to the large losses of the entire device and the low efficiency, there is a potential for improvement in the field of loss reduction and efficiency gains. The overall efficiency of a device is determined by the efficiency of the used hydro-generator, but also the flow of the water from the reservoir to the generator, which would require further analysis and additional testing. Also, analyzing the power storage options is needed, like supercapacitors, battery banks, or directly feeding an electrical consumer. Increasing the efficiency and productivity of the device, with the roof area of Tehnikamaja enough electricity could be generated to use it in sync with PV panels and wind generators or to balance their load.

Based on the result of the research and the experimental part, it can be said that on an example of Tehnikamaja it is possible to produce electricity from rainwater, which could have a high potential as an alternative energy source if the efficiency is increased.

# LIHTLITSENTS

## **Lihtlitsents lõputöö salvestamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Taavi Jõgeva

sünniaeg 28.12.1992

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö „Sajuvee kasutamine elektrienergia saamiseks Tehnikamaja näitel“,

mille juhendaja(d) on Mart Hovi ja Külli Hovi,

- 1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
- 1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
- 1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks pärast tähtajalise piirangu lõppemist

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_

(allkiri)

Tartu,

(kuupäev)

---

## **Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)